
Ultranagy szilárdságú acéllemezek ellenállás-ponthegesztett kötéseinek optimalizálása

OPTIMIZATION OF RESISTANCE SPOT WELDED UHSS SHEETS

VARBAI Balázs^{1,2}, TÓTH Tamás Krisztián^{1,3},
SOMMER Christina^{1,4}, MÁJLINGER Kornél^{1,5}

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Anyagtudomány és Technológia Tanszék

1111, Budapest, Bertalan Lajos utca 7.

Tel.+36 1 463 1115, Fax: +36 1 463 1366

E-mail: matsci@att.bme.hu, www.att.bme.hu

E-mail: varbai.balazs@gmail.com², tothtomi94@gmail.com³,

sommer.christina@fh-swf.de⁴

welding@att.bme.hu⁵

ABSTRACT

The resistance spot welding of two types of ultra high strength steel sheets (1500 M martensitic and S 1300 martensitic-bainitic) were optimized in similar and dissimilar joint. Box-Wilson method was applied to achieve the highest shear tension strength with the smallest indentation. The shear tension strength was significantly higher than the minimal value according the AWS D8.1 M standard.

KIVONAT

Kettő típusú (1500 M jelű martenzites és S 1300 jelű martenzit-bénites) ultranagy szilárdságú acéllemez ellenállás-ponthegesztett kötésekkombinációi kerültek optimalizálásra Box-Wilson módszerrel. Célfüggvény a legnagyobb nyíró-szakító erő elérése volt a legkisebb benyomódás mellett. A kötések nyíró-szakító ereje jóval meghaladta az AWS D8.1 M szabvány által előírt értéket.

Kulcsszavak: Ultranagy szilárdságú acél (UHSS); ellenállás-ponthegesztés; kísérlettervezés (DoE); nyíró-szakító erő

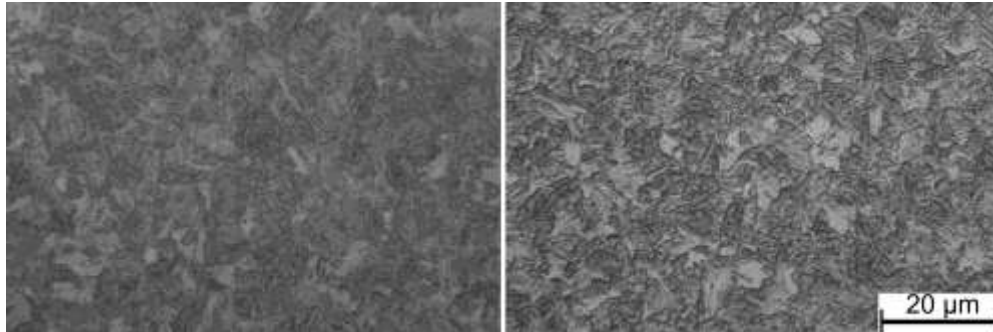
1. BEVEZETÉS

Az acélfejlesztések egyik iránya a kis ötvözetartalomra, de nagy szilárdságra való törekvés [1, 2]. A nagyszilárdságú acélokon belül már megkülönböztetnek ultranagy szilárdságú acélokat, tipikusan 800 MPa szakítószilárdság felett. Jelenleg forgalomban kapható vékonylemezekből 1300 MPa folyáshatár és afelettik is léteznek, melyhez több mint 1800 MPa szakítószilárdság társul. A nagy és ultranagy szilárdságú vékonylemezek egyik legnagyobb felvevőpiaca a – mindig gépjárművek önsúlyának csökkentésére törekvő – autópár [3–5]. A nagy szilárdságú acélok autópári alkalmazása a súlycsökkentés mellett lehetővé teszi az utasbiztonság növelését is, mivel ezek az acéltípusok ütközéskor nagymértékű energiaelnyelésre képesek. Az autópári konstrukciók leggyakoribb kötéstechnológiái az ellenállás-ponthegesztés és a különböző ívhegesztési eljárások [6–9], melyek közül az ellenállás-ponthegesztés számos előnnyel bír (pl. könnyű automatizálhatóság). Emiatt az ultranagy szilárdságú acélok alkalmazhatóságának egy fontos tényezője az ellenállás-ponthegesztéssel történő megfelelő hegeszthetőség, és a hegesztett kötés várható nyíró-szakító erejének ismerete.

2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

Jelen kutatásunkban kétféle ultranagy szilárdságú acél ellenállás-ponthegesztett kötését optimalizáltuk "central composite design" kísérleti elrendezésében, Box-Wilson módszerrel. Célfüggvény a legnagyobb nyíró-szakító erő (STS) elérése volt, ill. a kombinált optimumnál a legnagyobb nyíró-szakító erő elérése a legkisebb benyomódás mellett – ami fontos a pl.: karosszéria lemezeknél – fele/fele arányban súlyozva. A felhasznált alapanyagok 1500 M jelű martenzites acél (minimum 1500 MPa szakítószilárdsággal) és S 1300 jelű martenzit-bénites acél (minimum 1300 MPa folyáshatárral) voltak, homogén és heterogén kötéskombinációkban. Mindkét acél 1 mm vastag finomlemez volt. A kötések megnevezése a következők szerint történt: lemezanyag 1-lemezanyag 2. A

két acél kémiai összetétele és fő mechanikai tulajdonságai az 1. táblázatban, a szövetszerkezeti képük pedig az 1. ábrán látható. A hegesztési kísérletek P.E.I.-POINT PN25, 50 Hz frekvenciájú, váltóáramú ellenállás-ponthegeztő berendezéssel készültek: egyszerű munkarenddel, 12 mm átmérőjű gömbsüveg alakú rézelektrodával, 1600 N-os szorítóerővel. A változó paraméterek az áramerősség és a hegesztési idő voltak. A próbatestek elszakítása Tiratest 2000 típusú univerzális anyagvizsgáló géppel, a keménységprofil felvétele Buehler 1105 típusú mikrovickers keménységmérővel történt.



1. ábra

A két alapanyag szövetszerkezeti képe 1500 M bal oldal, 1300 S jobb oldal

1. táblázat. *A felhasznált acélok kémiai összetétele, számolt szénegyenértéke, és fő mechanikai tulajdonságai*

Acéltípus	Kémiai összetétel (tömeg%)											Keménység	R _m
	Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co	Cu	Ti	CET	(HV10)	(MPa)
1500 M	98,4	0,20	0,21	0,82	0,07	0,03	0,03	0,02	0,16	0,03	0,37	463±25	min. 1500
S 1300	98,4	<0,05	0,23	1,0	0,04	0,02	0,04	0,02	0,13	0,03	0,18	475±15	1840±35

Az AWS D8.1M szabvány ajánl az autóipar számára minimális nyíró-szakítóerő értéket (STS_{min}) az 1. egyenlet szerint, ahol t az anyagvastagsága mm-ben és R_m az alapanyag szakítószilárdsága MPa-ban megadva. A kötések ezen összefüggés alapján is ellenőriztük.

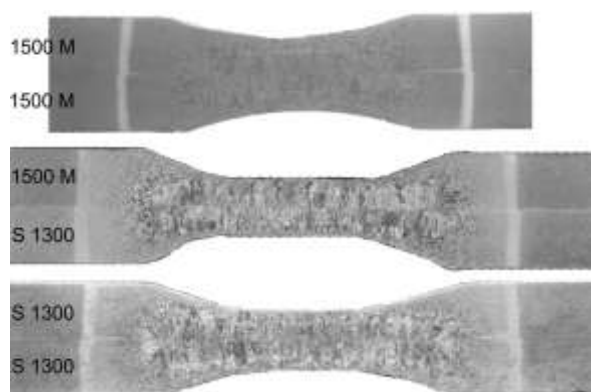
$$STS_{\min} = [t^{1,5} \times (-2,544 \times 10^{-8} \times R_m^3 + 2,632 \times 10^{-5} \times R_m^2 + 6,696 \times R_m)] / 1000 \text{ (kN)} \quad (1. \text{ egyenlet})$$

3. EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

Az összes kötéskombináció optimalizálásra került, a hegesztési paraméterek, és a kötés fő mért tulajdonságai a 2. táblázatban láthatók. A nagyobb szilárdságú acél egyértelműen keményebb munkarendet igényelt, vegyes kötésben is és az elért STS értékek is jóval nagyobbak voltak. Ez látszik is a varratlencse alakjában és méretében (2. ábra). A benyomódás csökkentésére minden esetben lágyabb munkarend volt szükséges. A törésig elnyelt munka viszont a kombinált optimumok esetében szignifikánsan csökkent. Mindenesetben a varratlencsékben keményedést, míg a hőhatásövezetekben jelentős keménységcsökkenést figyelhetünk meg (a hegesztés a hőhatásövezetben megeresztette az alapanyagokat (3. ábra)). Terjedelmi korlátok miatt ugyan csak a legnagyobb STS-re optimalizált kötések keménységelefutása van feltüntetve a 3. ábrán, a kombinált optimumok nagyban nem tértek el egyik esetben sem. A kötések tönkremenetele minden esetben a legkedvezőbb; kigombolódás volt.

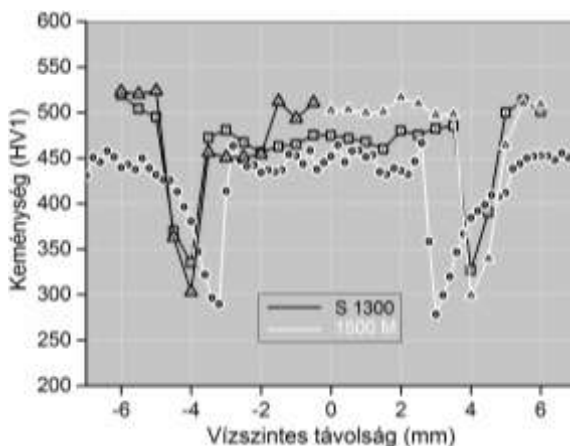
Ahogy a 2. táblázatban látható a nyíró-szakítóerő értékek bőven 10 kN felett voltak az S 1300-S 1300 esetében meghaladták a 22 kN értéket. Megjegyzendő, hogy a már korábban teljes faktoriális tervvel optimalizált kötés "csak" 15,7 kN volt [7]. Az elért STS értékek többszörösen meghaladták az AWS D8.1 szabvány szerinti minimumot (ld. 2. táblázat) sőt a függvény (1. egyenlet) jellegéből fakadóan ($R_m=1340$ MPa alapanyag szilárdságnál maximuma van) a nagyobb szilárdságú alapanyag esetében ez a viszonyszám nagyobb. Ezért $R_m > 1340$ MPa szakítószilárdságú finomlemezek esetén javasoljuk a 2. egyenlet szerinti összefüggés használatát.

$$STS_{\min (R_m > 1340 \text{ MPa})} = \frac{[3788,77 - (-6,36 \cdot 10^{-7} \cdot R_m^2 + 6,58 \cdot 10^{-4} \cdot R_m + 1,674) \cdot R_m] \cdot 4 \cdot t^{1,5}}{1000} \quad (2. \text{ egyenlet})$$



2. ábra

A kötések maratót makrosziszolatainak képei, lemezvastagság mindkét acél esetében 1 mm



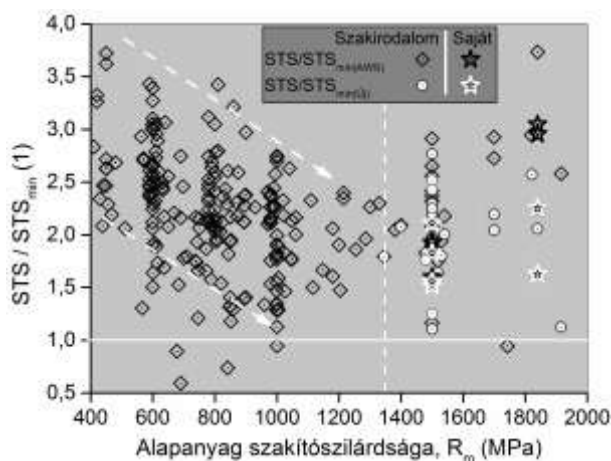
3. ábra

A kötések keresztmetszetén átlósan mért mikrokeménységfutas

2. táblázat. A maximális STS értékre a maximális STS mellett legkisebb benyomódásra optimalizált kötések hegesztési paraméterei, és a kötések fő mért tulajdonságai

Kötés jele	Hegesztési			STS (kN)	STS/STS _{min} 1. egyenlet (1)	STS/STS _{min} 2. egyenlet (1)	Törési energia (J)	Benyomódás (%)
	Áram (1)	Áram (kA)	Idő (per.)					
1500 M-1500 M	35	5,4	20	14,2±0,9	1,92	1,83	5,0±0,1	38
kombinált opt.	34	5,3	25	11,8±0,9	1,60	1,52	3,0±0,2	36
1500 M-S 1300	50	7.2	30	16,4±1,7	3,05	1,68	4,1±1,0	54
kombinált opt.	39	5,9	31	12,1±1,6	2,25	1,24	3,1±0,1	32
S 1300 - S 1300	50	7.2	30	22,0±2,2	4,09	2,25	5,9±0,7	55
kombinált opt.	43	6,4	32	15,9±1,0	2,95	1,63	4,6±1,0	48

A 4. ábrán látható szakirodalmi és saját STS adatokat az 1. és a 2. egyenlet szerint normalva láthatjuk, hogy $R_m < 1340$ MPa alapanyag-szilárdság esetén ez a hányados monoton csökken, míg $R_m > 1340$ MPa alapanyag-szilárdság esetén az 1. egyenlet szerint ismét növekedni kezd, amely igazából nem indokolt. A 2. egyenletet használva még mindig STS/STS_{min}=1–3 között mozog, ami véleményünk szerint tervezési biztonság szempontjából elegendő. Ezek alapján kijelenthető, hogy $R_m > 1340$ MPa szilárdságú acélok a csak nyírásra igénybevett kötéseinél, a 2. egyenlet szerint adott alkalmazásra kevesebb hegesztési pont is elegendő, ezzel gyorsítható a termelés.



4. ábra

Szakirodalmi és saját kötések nyíró-szakító értékei az 1. egyenlet (AWS D8.1) és a javasolt 2. egyenlet szerint normalva [6–9, 11–15]

4. KONKLÚZIÓK

Az elvégzett kísérletek és vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- Az 1500 M és az S 1300 jelű ultranagy szilárdságú finomlemezek sikeresen hegeszthetők ellenállás-ponthegesztéssel homogén és vegyes kötésben is.
- Mind a legnagyobb nyíró-szakítóerőre mind a legnagyobb nyíró-szakító erő mellett a legkisebb benyomódás elérésére optimalizált kötéskombinációk nyíró-szakító ereje jóval nagyobb volt az AWS D8.1 szabvány által elfogadhatónak ítélthez képest.
- Az 1340 MPa-nál nagyobb szakítószilárdságú acél finomlemezek esetén egy új egyenletet javasolunk a nyíró-szakítóerő előírására, melynek alkalmazásával adott felhasználásra kevesebb hegesztési pont is elegendő, ezzel gyorsítható a termelés.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS



Az Emberi erőforrások Minisztériuma ÚNKP-18-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült (ÚNKP-18-4-BME-197). Ez a kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült (BO/00196/16/6). A Projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával - NKFIH, valósult meg (OTKA PD 120865).

HIVATKOZÁSOK

- [1] Borhy I. és Kovács L., Hegesztett vasúti járműszerkezetek fáradásra történő méretezése, 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010, 439–446
- [2] Balogh A., Török I., Gáspár M. és Juhász D., Present state and future of advanced high strength steels, Production Processes and Systems, 2012, 5/1, 79–90
- [3] Gáspár M. és Jámor P., Termomechanikusan kezelt S960M nagyszilárdságú acél hőhatásövezetének fizikai szimulációra alapozott elemzése, Hegesztéstechnika, 2017, 27/2, 30–35
- [4] Dobosy Á. és Lukács J., S690QL jelű acélok hegeszthetőségének és fáradással szembeni ellenállásának vizsgálata, Hegesztéstechnika, 2015, 26/1, 51–59
- [5] Juhász K. és Végvári F., Különböző minőségű autópárizi lemezek ponthegeztése, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME), 2014, 221–224
- [6] Kozma B. és Dobránszky J., TRIP700 acél ellenállás-ponthegeztése, A XX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszak előadásai, Kolozsvár: Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME), 2015, 191–194
- [7] Kiss L. Májlínger K. és Varbai B., Nagyszilárdságú acéllemezek ellenállás-ponthegeztett kötéseinek optimalizálása, OGÉT 2017 Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2017, 219–222
- [8] Palotás B. és Pogonyi T., Korszerű nagyszilárdságú acélok ellenállás ponthegeztésének eredményei a Dunaújvárosi Egyetemen, Gép, 2017, 68/1, 27–33
- [9] Kovács-Coskun T. A. és Vajdics D., A TRIP acél ponthegeztésének hatása, Műszaki Tudományos Közlemények, 2015, 2, 227–234
- [10] Prém L., Balogh A. és Bézi Z., A kísérletes technológiafejlesztés hatékonyságának javítása végelelemes modellezés alkalmazásával nagyszilárdságú DP acélok ponthegeztésekor, 8. Nemzetközi Hegesztési Konferencia, Dunaújvárosi Egyetem, 2016.
- [11] Borhy I. és Tóth T., Termomechanikusan hengerelt nagyszilárdságú acélok ellenállás-ponthegeztési technológiájának optimalizálása, Hegesztéstechnika, 2018, 29/4, 47–51
- [12] Russo Spina P., Rossi S. és Wurzer R., Effects of Welding Parameters on Strength and Corrosion Behavior of Dissimilar Galvanized Q&P and TRIP Spot Welds, Metals, 2017, 7/12, 534
- [13] Katula L., Frank M. és Lublóy, É., Ellenállás-ponthegeztés hatása tűzihorganyzott lemezek korrozív viselkedésére, Acélszerkezetek, 2015, 12/4, 76–84
- [14] Russo Spina P., De Maddis M., Lombardi F. és Rossini M., Investigation on resistance spot welding of TWIP steel sheets, steel research international, 2015, 86/12, 1480–1489
- [15] Palotás B., Zemankó I. és Rózsahegy R., Ferrites-martenzites DP-acélok ellenállás-ponthegeztése, Bányászati Kohászati Lapok - Kohászat, 2014, 147/5–6, 39–43